РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 391 787** (13) **C2**

(51) МПК
H04L 27/18 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **2007127104/09, 16.07.2007**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
16.07.2007

(43) Дата публикации заявки: **27.01.2009**

(45) Опубликовано: **10.06.2010** Бюл. № **16**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **SU 1411997 A2, 23.07.1988. SU 1596475 A1, 30.09.1990. GB 1287093 A, 31.08.1972. JP 10150424 A, 02.06.1998. JP 62053040 A, 07.03.1987.**

Адрес для переписки:
644041, г.Омск, ул. 4-я Транспортная, 42, кв. 192, Д.В.Федосову

(72) Автор(ы):
Хазан Виталий Львович (RU),
Федосов Дмитрий Витальевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Хазан Виталий Львович (RU),
Федосов Дмитрий Витальевич (RU)

(54) СПОСОБ ПЕРЕДАЧИ ДИСКРЕТНЫХ СООБЩЕНИЙ ПО КАНАЛАМ С ФАЗОВОЙ МАНИПУЛЯЦИЕЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к способам передачи дискретных сообщений по каналам с фазовой манипуляцией с избыточными элементами в кодовых комбинациях для обнаружения ошибок. В способе все варианты сигналов задерживают в демодуляторе с помощью дискретных линий задержки, рассчитанных на максимально возможное число элементов кодовой комбинации и имеющих отводы, расположенные периодически вдоль линии задержки через количество элементов, содержащихся в одной кодовой комбинации, и на выходе каждого отвода каждой линии задержки проверяют кодовые комбинации на наличие в них ошибок, и определяется число правильных кодовых комбинаций, которые граничат друг с другом в линиях задержки от соответствующих отводов до концов линий задержки, и для каждой очередной кодовой комбинации перед подачей ее на декодер сравнивают все числа, полученные на интервале длительности кодовой комбинации, и по максимальному числу выбирают линию задержки и принимают решение о начале цикла цикловой синхронизации декодера, и с выхода выбранной линии задержки очередную кодовую комбинацию с началом цикла подают на декодер, а в случае, если у двух или более счетчиков в этот момент времени максимальные результаты оказываются одинаковыми, то на декодер подают очередную кодовую комбинацию с выхода той линии задержки, с которой подавали предыдущую кодовую комбинацию. Технический результат - обеспечение определения правильных значений начальных фаз для обнаружения ошибок в кодовой комбинации без дополнительной избыточности. 1 з.п. ф-лы,1 табл., 4 ил.

RU 2391787 C2

RU 2391787 C2

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(19) **RU** (11) **2 391 787** (13) **C2**

(51) Int. Cl.
H04L 27/18 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2007127104/09, 16.07.2007**

(24) Effective date for property rights:
16.07.2007

(43) Application published: **27.01.2009**

(45) Date of publication: **10.06.2010 Bull. 16**

Mail address:
644041, g.Omsk, ul. 4-ja Transportnaja, 42, kv. 192, D.V.Fedosovu

(72) Inventor(s):
Khazan Vitalij L'vovich (RU),
Fedosov Dmitrij Vital'evich (RU)

(73) Proprietor(s):
Khazan Vitalij L'vovich (RU),
Fedosov Dmitrij Vital'evich (RU)

(54) METHOD FOR TRANSFER OF DISCRETE MESSAGES ALONG CHANNELS WITH PHASE MANIPULATION

(57) Abstract:

FIELD: information technologies.

SUBSTANCE: in method all versions of signals are detained in demodulator with the help of discrete detaining lines designed for maximum possible number of elements of code combination, and having taps arranged periodically along detaining line via number of elements contained in a single code combination. At the outlet of each tap in each line code combinations are checked for availability of errors in them. Number of correct code combinations is identified, which border with each other in detaining lines from according taps to ends of detaining lines. For each subsequent code combination prior to its delivery to decoder, all numbers are compared, which were produced in the range of code combination duration. Maximum number is used to select detaining line and make decision on starting of cyclic decoder synchronisation cycle. From the outlet of selected detaining line subsequent code combination with cycle start is sent to decoder, and in case if in two or more counters at this moment of time maximum results are same, then another code combination is sent to decoder from the outlet of that delay line, from which previous code combination was sent.

EFFECT: invention provides for determination of correct values of initial phases for detection of errors in code combination without additional redundancy.

2 cl, 1 tbl, 4 dwg

RU 2391787 C2

RU 2391787 C2

Изобретение относится к способам передачи сообщений по каналам радиосвязи и позволяет внедрить в системы связи наиболее помехоустойчивый метод фазовой манипуляции (ФМ).

При классической n-позиционной фазовой манипуляции, когда возможные значения начальных фаз сигнала кратны 360°/n, на приемной стороне радиолинии нет возможности однозначно идентифицировать значения фаз, которые равны k·360°/n при 0≤k≤(n-1). Это объясняется тем, что любое из k значений фазы сигнала на приемной стороне радиолинии может быть принято за нулевое, что приводит к неверной фазовой синхронизации приемника. Например, при однократной ФМ n=2, и в этом случае на приемной стороне радиолинии можно наблюдать так называемую "обратную работу", когда решение "единица" выносится при передаче символа "ноль" и решение "ноль" выносится при передаче символа "единица" (Петрович Н.Т. Передача дискретной информации в каналах с фазовой манипуляцией. М.: Сов. Радио. 1965. С.12; Заездный А.М., Окунев Ю.Б., Рахович Л.М. Фазоразностная модуляция и ее применение для передачи дискретной информации. М.: Связь, 1967. С.8).

Широко известен способ приема ФМ сигналов, который позволил исключить явление "обратной работы" и который заключается в том, что сравниваются фазы соседних элементарных посылок. Этот способ получил название относительной фазовой манипуляции (ОФМ) (Петрович Н.Т. Передача дискретной информации в каналах с фазовой манипуляцией. М.: Сов. Радио. 1965. 263 с.) или фазоразностной манипуляции (ФРМ) (Заездный А.М., Окунев Ю.Б., Рахович Л.М. Фазоразностная модуляция и ее применение для передачи дискретной информации. М.: Связь, 1967. 304 с.).

Недостатком ОФМ является то, что ошибки, которые появляются на выходе приемного устройства под влиянием помех, способны группироваться парами, что делает неэффективным, например, применение кодов, обнаруживающих и исправляющих только одиночные ошибки в кодовых комбинациях. Здесь необходимо использовать избыточные коды, способные обнаруживать и исправлять как одиночные, так и двойные смежные ошибки. Это требует дополнительной избыточности и приводит к соответствующему снижению скорости передачи сообщений.

При ФМ в отличие от ОФМ не происходит группирования ошибок, и в этом - существенное преимущество ФМ перед ОФМ. Избавиться же от случаев неверной фазовой синхронизации при ФМ возможно путем введения специальных дополнительных избыточных символов в кодовую комбинацию, которые несут в себе информацию о нулевой фазе сигнала. При этом снижается скорость передачи сообщения, то есть уменьшается пропускная способность канала связи.

Однако избыточность в кодовые комбинации все равно вводится для обнаружения ошибок. Легко проверить, что, например, при однократной ФМ и при нечетном числе элементов в знаке и одном избыточном символе проверки на "четность" или "нечетность" (Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений. М.: Сов. Радио. 1970. С.102), возможно одновременно реализовать как обнаружение в кодовых комбинациях нечетного числа ошибок, так и наличие "обратной работы". В этом случае на обнаружение "обратной работы" при приеме ФМ сигналов не тратится дополнительной избыточности, и скорость передачи сообщений не снижается.

Если же изначально число информационных символов нечетно и равно, например, семи, как это имеет место в коде МТК-5, то символ проверки на "четность" или

"нечетность" делает число элементов в кодовой комбинации четным, что не дает возможности одновременно обнаруживать нечетное число ошибок и явление "обратной работы" на выходе демодулятора приемника.

При многократной фазовой телеграфии в случае неверной фазовой синхронизации "обратная работа" может возникать не при всех значениях фазы сигнала. Например, при двукратной фазовой манипуляции сообщение "11" передается гармоническим колебанием с фазой, равной нулю, сообщение "10" передается гармоническим колебанием с фазой, равной -90°, сообщение "01" передается гармоническим колебанием с фазой, равной +90°, а сообщение "00" передается гармоническим колебанием с фазой, равной 180°, как показано на фиг.1(a). Если на приемном конце радиолинии фаза сигнала +90° ошибочно принимается за 0°, "обратная работа" реализуется только в половине символов передаваемой пары элементов, как показано на фиг.1(b). Здесь правильно принятые символы выделены жирным шрифтом, а в скобках указаны передаваемые символы. Аналогичная картина имеет место, когда на приемном конце радиолинии фаза -90° ошибочно принимается за 0°, как показано на фиг.1(c). И только в случае, когда за 0° ошибочно принимается 180°, "обратная работа" реализуется во всех элементах, как показано на фиг.1(d).

Наиболее близким к предлагаемому является метод, в котором когерентный прием ФМ сигналов осуществляется детектором для приема многократной ФТ, блок-схема которого приведена на фиг.2 (Петрович Н.Т. Передача дискретной информации в каналах с фазовой манипуляцией. М.: Сов. Радио. 1965. 263 с., прототип).

На фиг.2 обозначены:

1 - вход демодулятора, на который подается напряжение U(t) с выхода усилительного тракта приемника;

2 - фазовый детектор, на выходе которого реализуется максимальное напряжение при передаче символов "11";

3 - фазовый детектор, на выходе которого реализуется максимальное напряжение при передаче символов "01";

4 - фазовый детектор, на выходе которого реализуется максимальное напряжение при передаче символов "00";

5 - фазовый детектор, на выходе которого реализуется максимальное напряжение при передаче символов "10";

6 - вход для опорного напряжения, имеющего начальную фазу 0°;

7 - вход для опорного напряжения, имеющего начальную фазу 90°;

8 - вход для опорного напряжения, имеющего начальную фазу 180°;

9 - вход для опорного напряжения, имеющего начальную фазу -90°;

10 - схема сравнения уровней напряжений на выходах фазовых детекторов;

11 - индивидуальный выход схемы сравнения для решения "11";

12 - индивидуальный выход схемы сравнения для решения "01";

13 - индивидуальный выход схемы сравнения для решения "00";

14 - индивидуальный выход схемы сравнения для решения "10";

15 - схема "или";

16 - результирующий выход демодулятора, с которого бинарная последовательность S(t) подается на декодер.

Сигнал U(t) с выхода усилительного тракта приемника подается на вход (1) демодулятора и поступает одновременно на все входы фазовых детекторов (2, 3, 4 и 5), каждый из которых соответствует определенной начальной фазе (0, 90°, 180° и -90°) опорного генератора, колебания которого с этими начальными фазами подаются

на вторые входы этих фазовых детекторов (6, 7, 8 и 9). Схема сравнения (10) анализирует уровни сигналов на выходах всех фазовых детекторов и принимает решение о принятых символах, которое выдается на ее соответствующий индивидуальные выход (11-14). Принятые схемой сравнения решения S(t) через схему "или" (15) поступают с выхода демодулятора (16) на вход декодера.

Как уже указывалась выше, способ по прототипу подвержен общему для ФМ недостатку - в ходе передачи сообщения он не дает возможности идентифицировать однозначно положения для конкретных значений начальных фаз опорных напряжений. Поэтому на отдельных интервалах времени передаваемого сообщения начальные фазы опорных напряжений определяются ошибочно и фрагменты сообщения на этих интервалах времени принимаются неверно. Очевидно, что при равновероятном принятии каждого положения фазы за нулевое при двукратной ФМ ошибочно будет приниматься 75% от общего числа знаков.

До настоящего времени не было найдено достаточно надежного и рационального способа передачи сигналов с ФМ по радиоканалам, которые являются нестационарными и имеют неопределенную фазу.

В данной заявке предлагается способ передачи сообщений методом ФМ, в котором при приеме сообщений объединяются задачи обнаружения ошибок с одновременным обнаружением возможной неверной фазовой синхронизации.

Целью настоящего изобретения является разработка способа, позволяющего использовать метод ФМ в системах связи, определяя правильные значения начальных фаз за счет кодовой избыточности для обнаружения ошибок в кодовой комбинации без специальной дополнительной избыточности для определения правильных положений начальных фаз сигнала.

Указанная цель достигается тем, что в предлагаемом способе передачи дискретных сообщений по каналам с фазовой манипуляцией с избыточными элементами в кодовых комбинациях для обнаружения ошибок, в котором варианты принимаемых сигналов соответствуют возможным позициям фазовой манипуляции, все варианты сигналов задерживают в демодуляторе с помощью дискретных линий задержки, рассчитанных на максимально возможное число элементов сообщения, кратное числу элементов, содержащихся в одной кодовой комбинации, с отводами, расположенными периодически вдоль линии задержки через количество элементов, содержащихся в одной кодовой комбинации, и на выходе каждого отвода каждой линии задержки проверяют кодовые комбинации на наличие в них ошибок, и с помощью счетчиков производят подсчет правильных кодовых комбинаций, которые граничат друг с другом в линиях задержки от соответствующих отводов до концов линий задержки, и для каждой очередной кодовой комбинации перед подачей ее на декодер сравнивают все числа, полученные на интервале длительности кодовой комбинации, и по максимальному из них принимают решение о начале цикла и о выборе соответствующей линии задержки, с которой очередную кодовую комбинацию с началом цикла подают на декодер, а в случае, если у двух или более счетчиков в этот момент времени максимальные результаты оказываются одинаковыми, то на декодер подают очередную кодовую комбинацию с выхода той линии задержки, с которой подавали предыдущую кодовую комбинацию, а решения о начале цикла используют для оперативной цикловой синхронизации декодера. В случае четного числа элементов в кодовой комбинации при формировании кодовой комбинации с проверкой на четность или нечетность используют один дополнительный элемент из предшествующей или последующей граничащих кодовых комбинаций, а передаваемое

сообщение дополняют в начале или в конце, в зависимости от принятого варианта кодирования, еще одним элементом.

Предлагается передавать сообщение с избыточными элементами, которые одновременно обнаруживают ошибки в кодовых комбинациях и "обратную работу" при ФМ, например, с избыточным элементом проверки на "четность" или "нечетность" "единиц" или "нулей". При этом, если число элементов в кодовой комбинации является четным, то для обнаружения "обратной работы", когда в кодовой комбинации знака инвертируются все элементы, для приведения числа элементов, проверяемых на "четность" или "нечетность" "единиц" или "нулей", к нечетному числу, заимствовать, как уже указывалось выше, один последний элемент от предшествующей кодовой комбинации или один первый элемент последующей кодовой комбинации.

А на приемном конце радиолинии в демодуляторе на достаточно продолжительном интервале времени, соответствующем достаточно большому числу знаков, анализируются все ситуации, которые возможны при неверном определении начальной фазы опорного напряжения, и выбираются как верные только те решения демодулятора, которые удовлетворяют в данном случае условиям проверки на "четность" или "нечетность" "единиц" или "нулей" на наиболее продолжительном интервале времени. Естественно, что при четном числе элементов в кодовой комбинации и предлагаемом методе кодирования интервал времени, на котором производится анализ на соответствие качеству (проверке на "четность" или "нечетность" "единиц" или "нулей"), должен учитывать и дополнительный элемент, т.е. содержать анализируемое число знаков плюс один элемент.

При многократной ФМ при кратности m число позиций фазы равно 2^m. При этом половина позиций отличаются друг от друга по фазе на 180°. Фазовые детекторы, которые соответствуют опорным напряжениям, отличающимся на 180°, будут иметь одинаковые уровни и разные знаки. Очевидно, что в этом случае число каналов в детекторном устройстве может быть уменьшено в два раза.

Блок-схема демодулятора с учетом этого замечания и с предлагаемым алгоритмом работы приведена на фиг.3, где обозначено:

17 - схема сравнения уровней и полярностей напряжений на выходах фазовых детекторов;

18-33 - входы схем "или";

34-37 - схемы "или";

38-41 - анализаторы соответствия информационных потоков критериям качества;

42 - схема сравнения;

43-46 - выходы с анализаторов на схему сравнения для оценок качества сигналов;

47-50 - выходы со схемы сравнения для сигналов управления анализаторами;

51-54 - выходы анализаторов для информационных сигналов;

55 - выход для импульсов цикловой синхронизации, подаваемых на отдельный вход декодера.

Сигнал U(t) с выхода усилительного тракта приемника подается на вход (1) демодулятора и поступает одновременно на входы фазовых детекторов (2) и (3). На второй вход фазового детектора (2) подается опорное напряжение (6) с начальной фазой, равной 0°. На второй вход фазового детектора (3) подается опорное напряжение (7) с начальной фазой, равной 90°. Схема сравнения (17) анализирует уровни и полярности сигналов на выходах обоих фазовых детекторов и принимает решение о принятых символах. Если максимальное по модулю напряжение поступает

с фазового детектора (2) и имеет положительную полярность, то принимаются решения о принятых символах "11", "10" "00" и "01". Если максимальное по модулю напряжение поступает с фазового детектора (2) и имеет отрицательную полярность, то принимаются решения о принятых символах "10", "00", "01" и "11". Если максимальное по модулю напряжение поступает с фазового детектора (3) и имеет положительную полярность, то принимаются решения о принятых символах "00", "01", "11" и "10". И, наконец, если максимальное по модулю напряжение поступает с фазового детектора (3) и имеет отрицательную полярность, то принимаются решения о принятых символах "01", "11", "10" и "00". Принятые схемой сравнения (17) решения группируются на ее выходах (18-33) и полученные бинарные последовательности подаются на входы четырех схем "или" (34-37). При этом, если схемой сравнения (17) принято решение "11" (18), которое поступает на схему "или" (34), то на схему "или" (35) подается решение в виде "10" (23), а на схему "или" (25) - в виде "00" (26) и, наконец, на схему "или" (37) в виде "01" (32). Аналогичная манипуляция осуществляется и с другими выходами схемы сравнения. Выходы всех схем "или" анализируются на предмет соответствия критериям качества, а именно на отсутствие ошибок, в том числе на отсутствие "обратной работы". Очевидно, что один из выходов схем "или" (34-37), который соответствует одному из возможных значений начальной фазы опорного напряжения, должен наиболее полно удовлетворять требованию соответствия критериям качества, т.е. представлять собой при отсутствии ошибок правильно принятое сообщение. Этот выход и обнаруживается анализаторами соответствия критериям качества (38-41) и схемой сравнения (42), на которую подаются результаты анализа качества (43-46) и которая с помощью сигналов управления (47-50) управляет информационными выходами анализаторов (51-54), по которым информационный сигнал поступает на схему "или" (15) и затем с ее выхода (16) транслируется на вход декодера. Одновременно с принятием решения о выборе сигнала, который наилучшим образом соответствует критерию качества, с выхода схемы сравнения (55) поступает сигнал, который может быть использован для цикловой синхронизации декодера.

Рассмотрим алгоритм работы одного из четырех анализаторов соответствия критериям качества (38-41), входящих в состав демодулятора, который предполагает передачу сообщения 8-элементным кодом с проверкой на "четность" «1» или «0» девяти элементов сообщения (с привлечением к проверке на "четность" последнего элемента предшествующего знака). Блок-схема такого анализатора соответствия критериям качества изображена на фиг.4, где обозначено:

56 - дискретная линия задержки на N знаков плюс один элемент;

57 - вход линии задержки;

58 - блок проверки на "четность" «1» или «0» кодовых комбинаций на интервале N знаков плюс один элемент;

59 - управляемый ключ;

60 - информационный выход анализатора соответствия критериям качества;

61 - выход, по которому сигналы соответствия качества поступают на схему сравнения демодулятора;

62 - вход для сигналов управления от схемы сравнения.

Последовательность элементов сообщения поступает на вход (57) дискретной линии задержки (56)анализатора соответствия критериям качества с выхода соответствующей схемы "или" демодулятора. На чертеже вдоль линии задержки (56)латинскими буквами с индексами обозначены элементы знаков в кодовых

комбинациях, которые помещены в эту линию задержки. При этом буквы a, b, c, d, e, f, g и h соответствуют первому, второму, третьему, четвертому, пятому, шестому, седьмому и восьмому элементам кодовых комбинаций, а индексы указывают на номер анализируемого знака. С приходом очередного элемента вся последовательность в линии задержки сдвигается вправо на один элемент и блоком проверки на "четность" (58) осуществляется проверка выполнения условия "четности" или "нечетности" "единиц" (или "нулей") во всех кодовых последовательностях элементов (в данном случае с учетом последнего элемента предшествующего знака). Результаты анализа на соответствие критерию качества с блока (58) поступают через выход (61) на схему сравнения результатов всех анализаторов. С выхода дискретной линии задержки сообщение подается на управляемый ключ (59), который пропускает или не пропускает на выход очередную кодовую комбинацию. Ключ (59) управляется с входа (62) сигналами, которые поступают от схемы сравнения результатов анализа. Если проверка на "четность" удовлетворяется в данной линии задержки в одном из положений, которое соответствует одному из элементов кодовой комбинации, на наибольшем участке от конца линии задержки, чем у остальных анализаторов, или, по крайней мере, не на меньшем участке, чем у остальных анализаторов, то ключ (59) открывается и бинарная последовательность, которая соответствует одной кодовой комбинации, подается с выхода канала анализатора соответствия критериям качества (60) на схему "или" (15), включенную на выходе демодулятора.

Вероятность $P_{чс}$ выполнения условия "четности" случайно на длительности одной кодовой комбинации на шумах (в дежурном режиме) или при приеме в положении, которое не соответствует границам цикла (кодовой комбинации), равна 0,5. Вероятность выполнения условия "четности" $P_{чс}$ на длительности N знаков при случайной бинарной последовательности соответственно равна $0{,}5^N$. В таблице приведена зависимость вероятности выполнения условия "четности" $P_{чс}$ на интервале N знаков в зависимости от $N \leq 12$.

N	1	2	3	4	5	6
$P_{чс}$	0,5	0,25	0,125	0,0625	0,03125	0,03125
N	7	8	9	10	11	12
$P_{чс}$	0,0156	0,0078	0,0039	0,00195	0,00098	0,00049

Очевидно, что каким бы не было большим число N, всегда остается какая-то вероятность того, что на длительности N знаков сигнал положительной оценки соответствия критериям качества может поступить с выходов двух или большего числа анализаторов. Во избежание такой критической ситуации на выходе демодулятора включается схема "или" (15), которая пропускает сигнал с выхода, например, лишь того анализатора, с которого он поступал до этого момента времени.

Анализатор соответствия критериям качества может одновременно использоваться и для цикловой синхронизации декодера, поскольку он определяет момент выполнения условия удовлетворения качества во всех знаках на достаточно большом интервале бинарной последовательности, то есть с достаточно большой степенью вероятности определяет начало принимаемой в данный момент кодовой комбинации. Таким образом, предлагаемый способ передачи сообщений методом ФМ автоматически обеспечивает и цикловую синхронизацию декодера, что важно для многолучевых каналов связи при высокой скорости манипуляции, когда из-за "вставок" и "выпадений" отдельных элементов в момент смены независимо замирающих лучей может происходить цикловая рассинхронизация.

Критерии качества должны выполняться на интервале времени, который содержит достаточно большое количество знаков N.

Рассмотрим случай четного числа символов в кодовой комбинации (например, восьми) для организации нечетного числа символов, которые участвуют в проверке на "четность" или "нечетность" "единиц" или "нулей", все время добавляется один дополнительный элемент, который заимствуется из числа элементов преимущественно у соседних кодовых комбинаций (предшествующих или следующих за кодируемой последовательностью) и производится проверка на "четность" или "нечетность" в группе символов, содержащих в этом случае нечетное число элементов (в нашем примере с кодом МТК-5 - девяти элементов).

Пусть, например, кодом КОИ-7 с семью информационными элементами в кодовой комбинации и одним проверочным элементом, используемым для обнаружения ошибок (Стеклов В.К. Телеграфия и системы передачи данных. М.: Радио и связь. 1988. С.11), передается методом однократной фазовой манипуляции сообщение "Фазовая манипуляция":

Кодируем это сообщение сначала без избыточности:

Ф а з о в а я

0110011 1000001 0101101 1111001 1110101 1000001 1000101

пробел

0000010

м а н и п у л я ц и я

1011001 1000001 0111001 1001001 0000101 1010101 0011001 1000101 1100001 1001001 1000101.

(Пробелы в бинарной последовательности в данном случае для наглядности разделяют знаки, а на самом деле отсутствуют).

Дополним сначала, как это обычно делается, каждую семиэлементную кодовую комбинацию восьмым избыточным элементом (в нашем случае - проверки на "четность" "единиц"):

01100110 10000010 01011010 11110011 11101011 10000010 10001011

00000101

10110010 10000010 01110010 10010011 00001010 10101010 00110011 10001011 11000011 10010011 10001011.

Будем передавать это сообщение методом ФМ. Если происходит сбой при приеме сигнала с ФМ, и присутствует "обратная работа", то на выходе демодулятора имеет место следующая последовательность символов:

10011001 01111101 10100101 00001100 00010100 01111101 01110100

11111010

01001101 01111101 10001101 01101100 11110101 01010101 11001100 01110100 00111100 01101100 01110100

Очевидно, что правило проверки на "четность" "единиц" в этом случае не нарушается, и приемник, не обнаружив ошибок, вынужден принять сообщение, которое не несет никакой информации.

Если же передавать последовательность, в которой обеспечивается проверка на "четность" элементов текущего знака плюс один (первый) элемент, заимствованный,

например, у последующей кодовой комбинации, то есть когда без избыточности передается нижеследующая кодовая последовательность (заимствуемые для введения избыточности символы выделены жирным шрифтом):

0110011 **1**000001 **0**101101 **1**111001 **1**110101 **1**000001 **1**000101

0000010 **1**011001 **1**000001 **0**111001 **1**001001 **0**000101 **1**010101 **0**011001 **1**000101 **1**100001

1001001 **1**000101 **0***,

(*Сообщение в нашем случае при заимствовании первого элемента следующего знака для проверки на "четность" должно оканчиваться дополнительно передаваемым символом "0" или "1", что позволяет закодировать по предлагаемому алгоритму последний знак сообщения).

При кодировании с привлечением первого элемента следующего знака для проверки на "четность" "единиц" будет иметь место последовательность:

01100111 10000010 01011011 11110010 11101010 10000011 10001011

00000100

10110011 10000010 01110011 10010011 00001011 10101010 00110010 10001010 11000010

10010010 10001011 0

Если в этом случае происходит сбой при приеме сигнала с фазовой манипуляцией, и присутствует "обратная работа", то на выходе демодулятора будет иметь место следующая последовательность символов:

10011000 01111101 10100100 00001101 00010101 01111100 01110100

11111011

01001100 01111101 10001100 01101100 11110100 01010101 11001101 01110101 00111101

01101101 01110100 1

Проверяя на приемном конце эту последовательность символов на "четность" числа "единиц" в каждой кодовой комбинации с учетом девяти элементов, можно видеть, что абсолютно во всех знаках в данном сообщении не выполняется условие четности "единиц". В этом случае все сообщение может быть инвертировано и после этого декодировано совершенно верно. Одновременно при появлении нечетного числа ошибок на отдельных интервалах, состоящих из девяти элементов, проверяемых на "четность" "единиц", происходит обнаружение ошибок и соответствующие знаки "стираются" декодером. В случае, если ошибка произошла в первом символе знака, то, поскольку он участвует дважды в "проверке на четность", стираются два соседних знака. Стертые знаки могут быть воспроизведены посредством переспроса по каналу обратной связи.

В рассмотренном примере введение одного избыточного символа в каждую кодовую комбинацию проверки на "четность" на интервале нечетного числа элементов позволяет сохранить основную его функцию обнаружения ошибок в отдельных кодовых комбинациях и одновременно решить проблему обнаружения и ликвидации "обратной работы" при однократной ФМ, обеспечивая тем самым когерентный прием ФМ сигналов, который является наиболее помехоустойчивым из всех известных методов манипуляции (Петрович Н.Т. Передача дискретной информации в каналах с фазовой манипуляцией. М.: Сов. Радио. 1965. С.57). Известно, например, что в одних и тех же условиях связи число ошибок при ФМ в два раза меньше, чем при ОФМ (Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений. М.: Сов. Радио. 1970. С.295). Очевидно, что в вышерассмотренном случае обнаружение

"обратной работы" обеспечивает наиболее помехоустойчивую передачу сигнала и не требует ввода специальных избыточных символов, то есть скорость при таком методе передачи сообщений не снижается.

Таким образом, очевидно, что в общем случае многопозиционной фазовой манипуляции, в зависимости от конкретной реализации ошибки при фазовой синхронизации, в кодовой комбинации может быть инвертировано различное число элементов. Один избыточный элемент способен обнаружить нечетное число инвертированных элементов в кодовой комбинации. Для случая обнаружения инверсии абсолютно всех символов кодовой комбинации с четным числом элементов, который называется "обратной работой", целесообразно, как было показано выше, для кодирования с проверкой на четность "единиц" и "нулей" в этой кодовой комбинации заимствовать один элемент из кодовых комбинаций соседних знаков (или опережающего или запаздывающего), чтобы общее число элементов, подвергающееся проверке на четность стало нечетным. Последний случай особенно важен при использовании самой помехоустойчивой однократной ФМ, пример которой был рассмотрен выше.

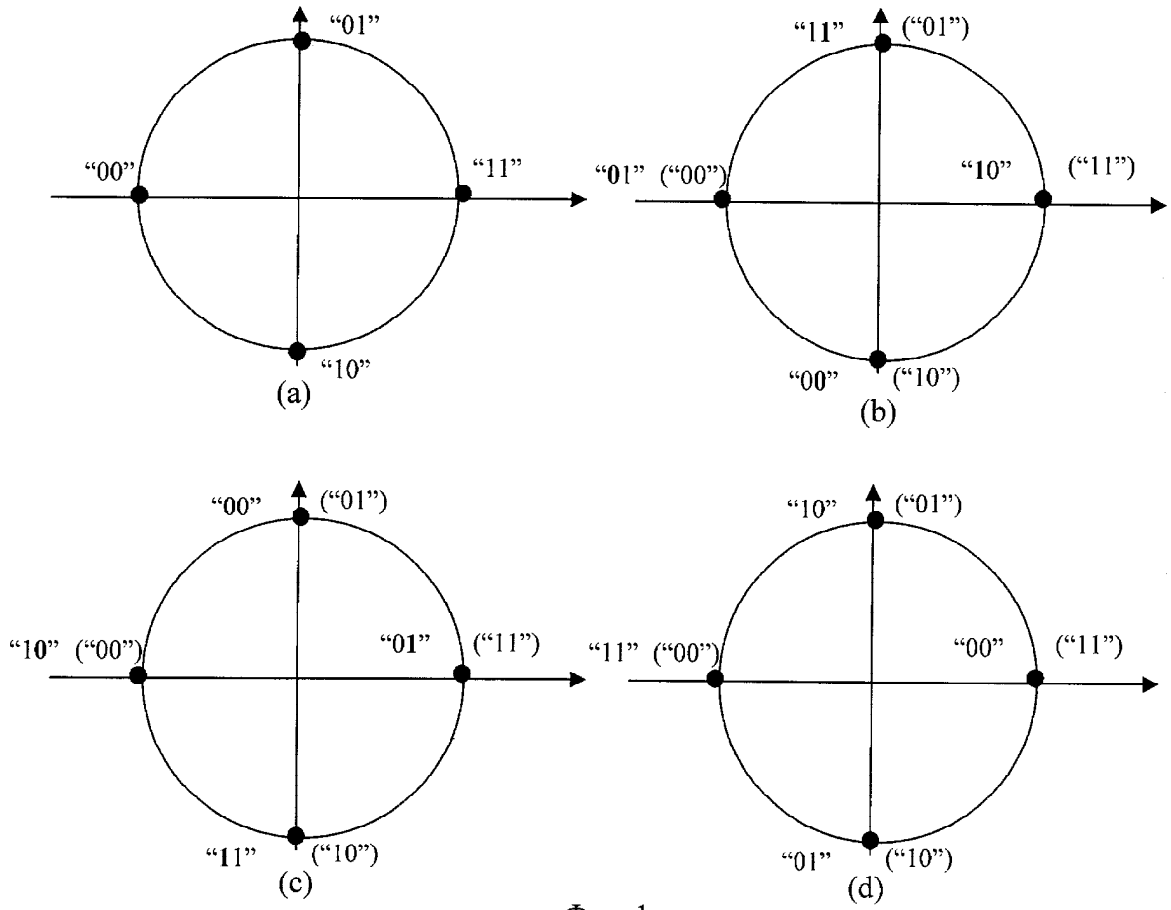
Предлагаемый алгоритм передачи сообщений методом ФМ был проверен на компьютерной имитационной модели и полностью подтвердил свою работоспособность.

Формула изобретения

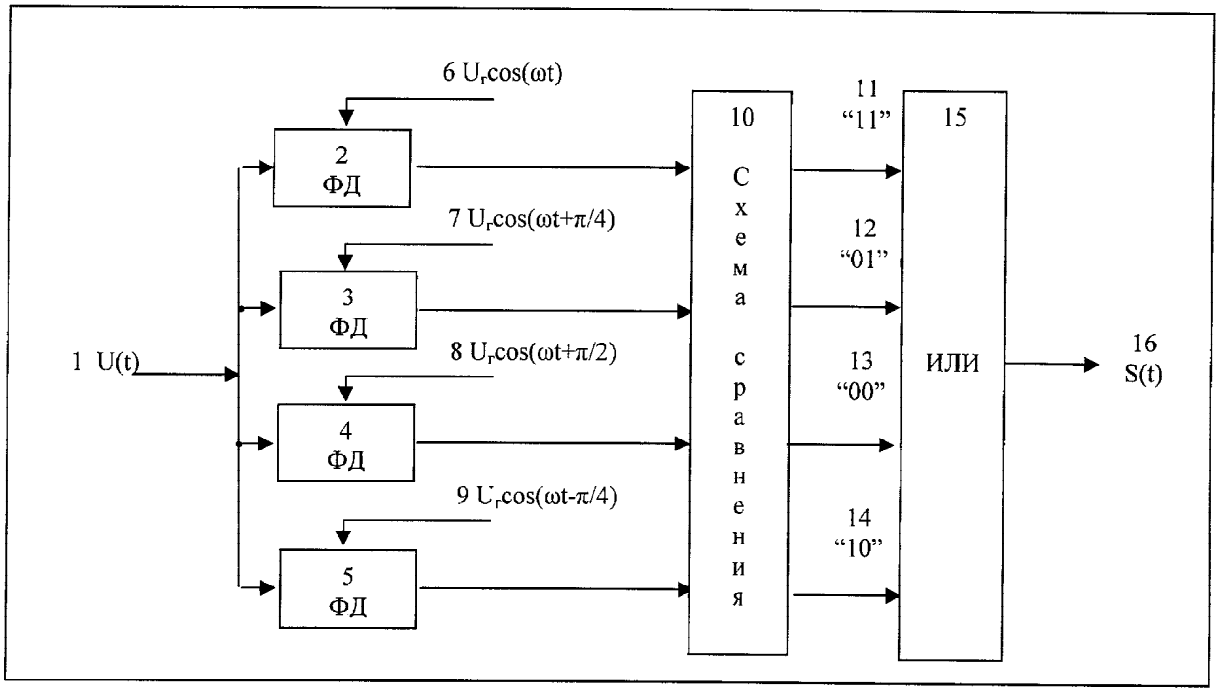
1. Способ передачи дискретных сообщений по каналам с фазовой манипуляцией с избыточными элементами в кодовых комбинациях для обнаружения ошибок, в котором сигнал принимают одновременно параллельно включенными фазовыми детекторами, число которых равно числу возможных позиций фазовой манипуляции, отличающийся тем, что после фазовых детекторов принятые решения задерживаются с помощью дискретных линий задержки, рассчитанных на максимально возможное число кодовых комбинаций, вмещающих в себя как информационные, так и избыточные элементы кодовых комбинаций, и имеющих отводы, расположенные периодически вдоль линии задержки через количество элементов, содержащихся в одной кодовой комбинации, а на выходе каждого отвода каждой линии задержки кодовые комбинации проверяются на наличие в них ошибок, и определяется число правильно принятых кодовых комбинаций, которые граничат друг с другом в линиях задержки от соответствующих отводов до концов линий задержки, и для каждой очередной кодовой комбинации перед подачей ее на декодер сравниваются все числа правильно принятых кодовых комбинаций, полученные на интервале длительности кодовой комбинации, и по максимальному числу выбирают линию задержки и принимают решение о начале цикла, которое используется для оперативной цикловой синхронизации декодера, и с выхода выбранной линии задержки очередная кодовая комбинация с началом цикла подается на вход декодера, в случае, если у двух или более счетчиков в этот момент времени определенные ими числа правильно принятых кодовых комбинаций оказываются одинаковыми, то на декодер подается очередная кодовая комбинация с выхода той линии задержки, с которой подавалась предыдущая кодовая комбинация.

2. Способ передачи дискретных сообщений по п.1, отличающийся тем, что в случае четного числа элементов в кодовой комбинации при формировании на передатчике кодовой комбинации с одним избыточным элементом проверки на четность или нечетность и при проверке в приемнике на четность или нечетность в качестве

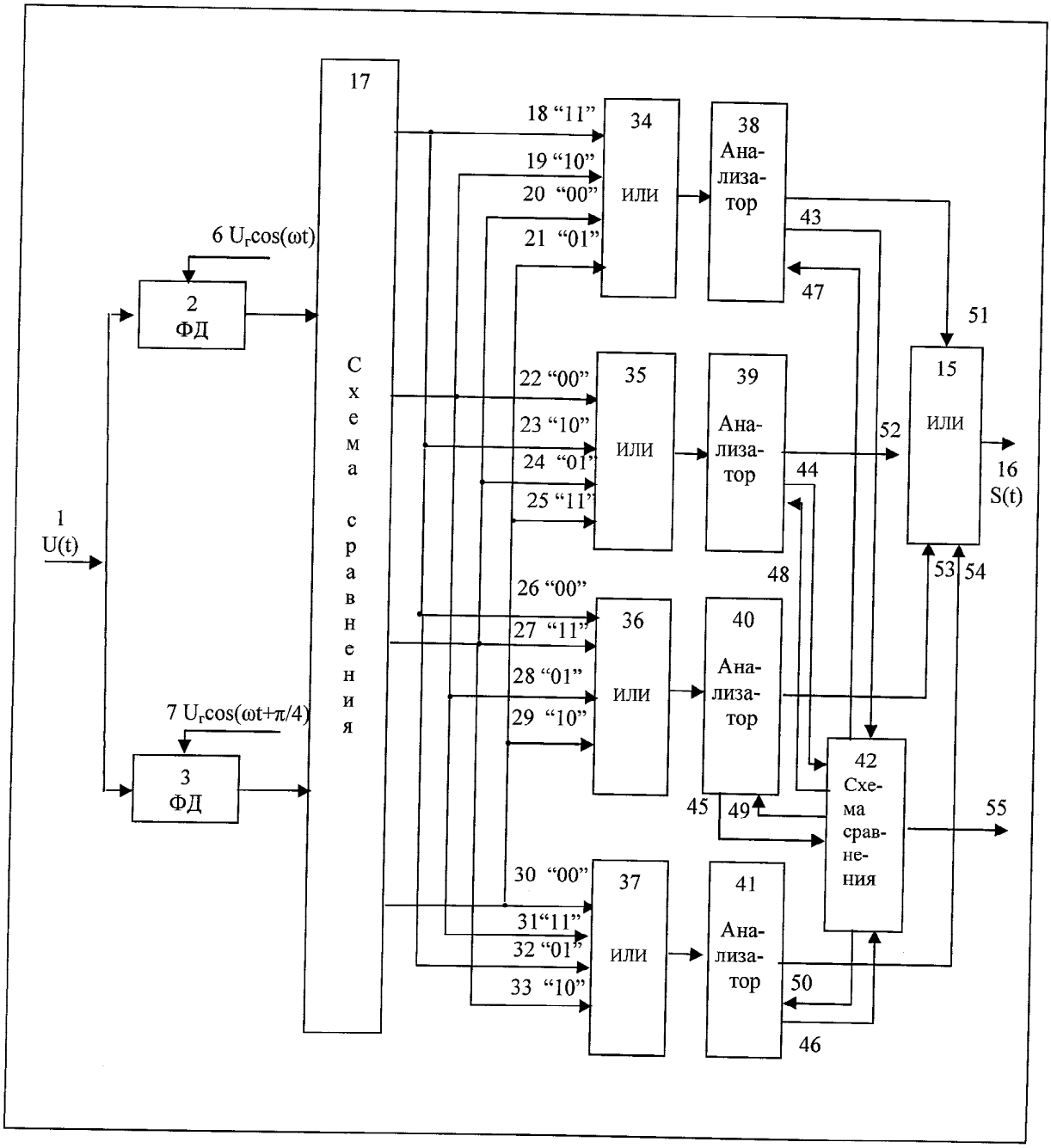
избыточного элемента используют один элемент из предшествующей или последующей кодовой комбинации сообщения, граничащей с этой кодовой комбинацией, а передаваемое сообщение дополняют в начале или в конце в зависимости от принятого варианта кодирования одним дополнительным элементом.


"01"
"00"
"11"
"10"
(a)
"11" ("01")
"01" ("00")
"10"
("11")
"00"
("10")
(b)
"00" ("01")
"10" ("00")
"01"
("11")
"11"
("10")
(c)
"10" ("01")
"11" ("00")
"00"
("11")
"01"
("10")
(d)

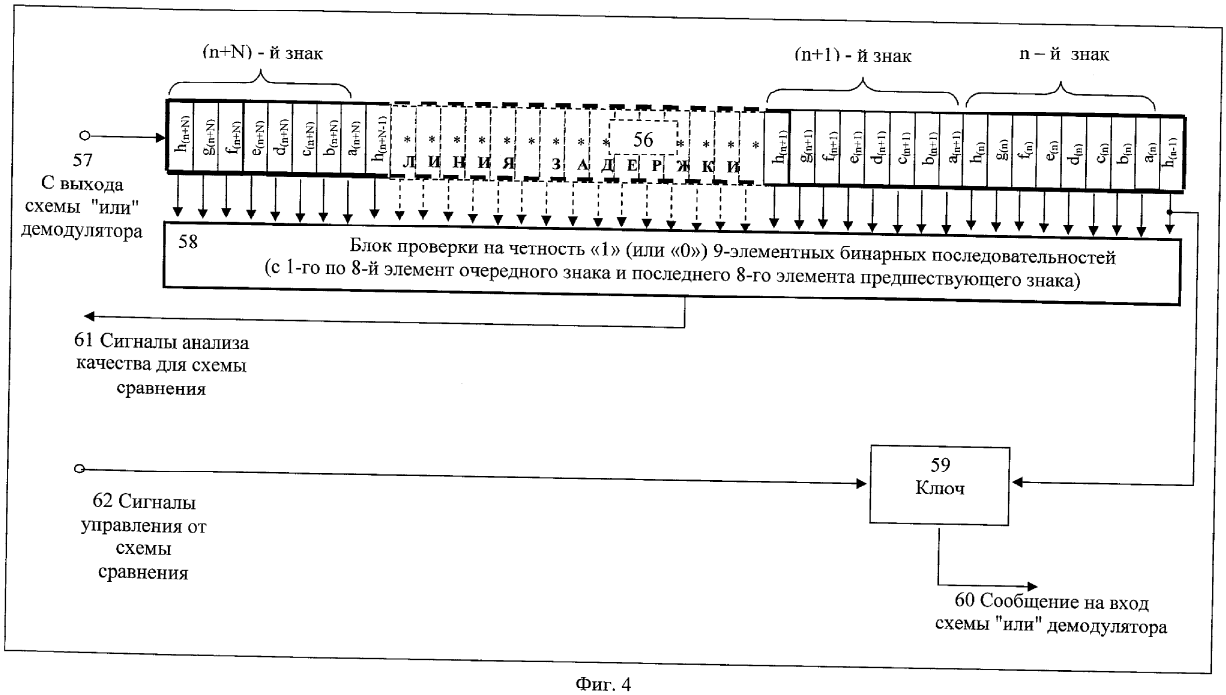
Фиг. 1


6 Ur cos(ωt)
2 ФД
7 Ur cos(ωt+π/4)
3 ФД
1 U(t)
8 Ur cos(ωt+π/2)
4 ФД
9 Ur cos(ωt-π/4)
5 ФД
10 Схема сравнения
11 "11"
12 "01"
13 "00"
14 "10"
15 ИЛИ
16 S(t)

Фиг. 2


17
Схема сравнения
18 "11"
19 "10"
20 "00"
21 "01"
34 ИЛИ
38 Анализатор
43
47
51
6 $U_r\cos(\omega t)$
2 ФД
22 "00"
23 "10"
24 "01"
25 "11"
35 ИЛИ
39 Анализатор
52
44
15 ИЛИ
16 S(t)
1 U(t)
48
53
54
26 "00"
27 "11"
28 "01"
29 "10"
36 ИЛИ
40 Анализатор
7 $U_r\cos(\omega t+\pi/4)$
3 ФД
42 Схема сравнения
45
49
55
30 "00"
31"11"
32 "01"
33 "10"
37 ИЛИ
41 Анализатор
50
46

Фиг. 3


(n+N) - й знак
(n+1) - й знак
n – й знак
57
С выхода схемы "или" демодулятора
Л И Н И Я З А Д Е Р Ж К И
56
58
Блок проверки на четность «1» (или «0») 9-элементных бинарных последовательностей
(с 1-го по 8-й элемент очередного знака и последнего 8-го элемента предшествующего знака)
61 Сигналы анализа качества для схемы сравнения
62 Сигналы управления от схемы сравнения
59
Ключ
60 Сообщение на вход схемы "или" демодулятора

Фиг. 4